Journal of Water and Soil
https://jsw.um.ac.ir

Research Article
Vol. 36, No. 4, Sep.-Oct. 2022, p. 421-438

Investigating the Role of Natural and Human Factors on Intensification of Floods and Flooding in Kalat City

S. Attaran[1], A. Mosaedi[2]*, H. Sojasi[3]

Received: 06-07-2022
Revised: 30-07-2022
Accepted: 04-09-2022
Available Online: 21-11-2022

How to cite this article:
Attaran, S., Mosaedi, A., & Sojasi, H. (2022). Investigating the Role of Natural and Human Factors on Intensification of Floods and Flooding in Kalat City. *Journal of Water and Soil 36*(4): 421-438. (In Persian with English abstract)
DOI: 10.22067/jsw.2022.77163.1173

Introduction

The world population has grown rapidly over the last 150 years and continues to do so, resulting in impacts on hydrologic resources at both a local and global scale (Yang et al., 2012). The competition for water between humans and ecosystems leads to complex interactions between hydrologic and social systems (liu et al., 2015). From the beginning of human history, it is located in floodplains. Floods can have large societal impacts, such as severe damage to urban areas, which are expected to grow around the world (Alfieriet al., 2018). In traditional hydrology, humans are either conceptualized as an external force to the system under study or taken into account as boundary conditions (Peel and Blöschl, 2011). Sivapalan et al. (2012) proposed a new model for investigating the interactions of the hydrological system and the social system. It explores the procedure coupled human-water system evolves and possible trajectories of its co-evolution, including the possibility of generating emergent, even unexpected, behaviors. Socio-hydrology must strive to be a quantitative science. There are several methods to control and mitigate flood risk, one of these methods is flood zoning (Jha et al., 2012). In last two decates, The Kalat city is flooded almost every year and many houses and historical sites in the city are damaged. Therefore, the main purpose of thisWe paper is to show investigated how changing human behavior with nature can affect the behavior of the natural system.

Method and Materials

Kalat city located in 59° 43' 23" to 59° 47' 41" northern latitude and 36° 59' 35" to 37° 00' 05" eastern longitude. The city is divided into 11 sub-basins. The city has experienced fast and inappropriate urbanization over the past few years. To collect our data, the annual reports of the Regional Water Organization and the Environment Organization of Khorasan Province were used.

SCS method was used to estimate the runoff peak discharge. Precipitation has been estimated for seven return periods: 2, 5, 10, 25, 50, 100, and 200 years. In this study, to analyze the sensitivity of runoff, we considered precipitation and curves number from 20% less to 20% more than the actual values in the study basin (at intervals of 5 %). We used the Cowan method to determine the roughness coefficient in this study. HEC-RAS model has been used for flood zoning. To determine the impact of various factors on the intensification of floods in Kalat city, we obtained questionnaires from relevant authorities. Likert scale was used to measure the results of the questionnaires. We prepared two questionnaires; first one is related to the inner city zone and includes the factors that intensify the occurrence of floods inside the city of Kalat, and it was classified into the following parts: 1) Local community 2) Managerial 3) Physical; and the second one includes the factors that intensify the flood in the

1- Master's Degre in Water Science and Engineering, Water Resources Management, Water and Environment Research Institute, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
2- Professor, Water Science and Engineering Department, Water and Environment Research Institute, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
(*- Corresponding Author Email: mosaedi@um.ac.ir)
3- Associate Professor of Geography & Rural Planning, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

upper part of Kalat city. We classified these factors into three parts: 1) Non-local community 2) Managerial 3) Environmental .

Results and Discussion

Results of sensitivity analyzes demonstrated that land-use and land cover change had a further effect on peak discharge. In sub-basin 1, by 20% increase in the curve number, the level of peak dumping increased by more than 111%, with a return period of 2 year; while a 20% increase in precipitation, in the same return period, rises the peak discharge only 3%. The peak discharge time in some sub-basins was brief due to the presence of impermeable surfaces, so that in sub-basins 4, 6, 7, and 8, the peak discharge time was less than 30 minutes. These results highlight the dangers of these floods and the need for proper flood planning and management in these sub-basins. The results of the Manning coefficient demonstrated that we can reduce flood damage by applying management measures in the future, as well as paying attention to the feedback between urbanization and the flood zone. Roughness control by applying management programs can reduce the area of flood zones to 0.1 square kilometers. In this case, buildings should be removed from the river, and there should be no structure in the path of the river. According to the questionnaires in the inner city part, the most fundamental factor in intensifying the flood damage was related to “activities of local people” with the average of 3.59. In the upper part of the city, the most influential factors were ascribed to “managerial factors” with the average of 3.79.

Conclusion

In a general conclusion, it can be concluded that the role of human factors in the occurrence and intensification of floods was much greater than rainfall. Therefore, in order to manage and control floods, it is necessary to prevent the change of land use and the reduction of permeability. And management programs should be aimed at increasing surface permeability. We suggest that more research be done on the role of economic and social factors in increasing flood risk in other climate zones.

Keywords: Flood management, Kalat city, Rroughness coefficient, Social hydrology, Urban hydrology

Journal of Water and Soil
https://jsw.um.ac.ir

مقاله پژوهشی

جلد ۳۶، شماره ۴، مهر-آبان ۱۴۰۱، ص. ۴۳۸-۴۲۱

بررسی نقش عوامل طبیعی و انسانی بر تشدید وقوع سیل و آبگرفتگی در شهر کلات

سارا عطاران[۱]- ابوالفضل مساعدی[۲*]- حمداله سجاسی قیداری[۳]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۴/۱۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۶/۱۳

چکیده

علی‌رغم توسعه علم و فن‌آوری، شواهد نشان می‌دهند که آسیب‌پذیری نسبت به سیل در مقایسه با گذشته افزایش یافته‌است. فعالیت‌های انسانی، تاثیر به سزایی در وقوع سیل و خسارات ناشی از آن دارد. به این منظور نیاز است تاثیرات متقابل سیستم انسانی و هیدرولوژیک به دقت بررسی شود. پژوهش حاضر باهدف بررسی تاثیر عوامل طبیعی و انسانی بر تشدید وقوع سیل و آبگرفتگی در شهر کلات (واقع در استان خراسان رضوی) انجام شده‌است. این شهر هرساله شاهد سیل‌هایی است که خسارات زیادی به ساختمان‌های مسکونی، اداری و بناهای تاریخی شهر وارد می‌کند. برای این منظور تاثیر تغییر شدت بارش و تغییر کاربری اراضی بر دبی اوج رواناب بررسی شد، به‌طوری که تغییرات دبی اوج نسبت به افزایش و کاهش ۲۰ درصدی شدت بارندگی و همچنین افزایش و یا کاهش عدد منحنی (CN) براورد شد. همچنین با ارائه چند سناریو، تاثیر تغییر در رویکردهای مدیریتی به منظور کاهش ضریب‌زبری با مدل‌سازی پهنه سیل و با استفاده از نرم‌افزار HEC-RAS مورد آزمون قرار گرفت. از طرفی به منظور تعیین مهم‌ترین عوامل تاثیرگذار در تشدید وقوع سیل و آبگرفتگی، پرسشنامه‌هایی تهیه و نظرات کارشناسی و فنی متخصصین و کارشناسان اجرایی مورد تحلیل قرار گرفت. پرسشنامه‌های مذکور بر اساس طیف لیکرت پنج امتیازی طراحی شد، به‌گونه‌ای که عدد ۵ نشان‌دهنده بیش‌ترین تاثیر و عدد ۱ بیان‌گر کم‌ترین تاثیر می‌باشد. نتایج نشان داد که تاثیر تغییرات عدد منحنی بر میزان دبی اوج حدود ۳۷ برابر بیشتر از تاثیر تغییرات بارش است. همچنین بررسی سناریوهای مختلف به منظور اصلاح ضریب‌زبری نشان می‌دهد که با انجام برنامه‌های مدیریتی مساحت پهنه سیل در بعضی از زیر حوضه‌ها تا ۱۵درصد می‌تواند کاهش یابد. تحلیل نتایج پرسشنامه‌ها نشان می‌دهد که مهم‌ترین عوامل درون‌شهری در تشدید وقوع سیل در داخل شهر کلات عوامل "فعالیت‌های مردم محلی" با میانگین امتیاز ۳/۵۹، و در خارج از شهر عوامل "مدیریتی" با میانگین امتیاز ۳/۷۹ هستند.

واژه‌های کلیدی: ضریب‌زبری، کلات، مدیریت سیل، هیدرولوژی اجتماعی، هیدرولوژی شهری

مقدمه

جمعیت جهان در طی ۱۵۰ سال گذشته به سرعت افزایش یافته‌است، این رشد جمعیت تأثیراتی بر منابع آب و پاسخ هیدرولوژیک در مقیاس محلی و جهانی داشته‌است (Yang *et al.*, 2012). حوادث طبیعی از ابتدای تاریخ، زندگی بشر را تحت تاثیر قرار داده است، اما با افزایش روزافزون جمعیت، قدرت تخریب و خسارات ناشی از وقوع این حوادث افزایش یافته‌است. از زمان ثبت نخستین تمدن‌ها، مردم در دشت‌های سیل‌گیر مستقر شدند، زیرا در این مناطق شرایط مناسب برای تجارت، کشاورزی و توسعه اقتصادی فراهم بود (Di Baldassarre *et al.*, 2010). دشت‌های سیلاب‌گیر مناطقی هستند که به‌طور دوره‌ای به‌دلیل طغیان رودخانه‌ها به زیر آب می‌روند (Junk *et al.*, 1989). این مناطق از لحاظ فرایندهای هیدرولوژیک به‌وضوح از زمین‌های هم‌جوار خود متمایز هستند (Nardi *et al.*, 2006). همچنین از نظر ارزش اکوسیستم و تولید محصولات کشاورزی و تنوع

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مدیریت منابع آب، پژوهشکده آب و محیط زیست، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

۲- استاد گروه علوم و مهندسی آب، پژوهشکده آب و محیط زیست، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

(*- نویسنده مسئول: Email: mosaedi@um.ac.ir)

۳- دانشیار گروه جغرافیا، رشته جغرافیا و برنامه‌ریزی روستایی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

DOI: 10.22067/JSW.2022.77163.1173

زیست‌محیطی بسیار شاخص هستند (Opperman et al., 2009).

سیل در ۲۰ سال گذشته سومین بلای خسارت ساز در جهان بوده‌است (Chan et al., 2022 ؛CRED, 2015). ایران ششمین کشور حادثه‌خیز جهان است و سیل، خسارت‌بارترین حادثه پس از زلزله و خشکسالی است (Asadi et al., 2015). تعداد حوادث سیل و خسارت‌های ناشی از آن در دهه‌های گذشته به‌طور چشمگیری افزایش یافته است (Di Baldassarre et al., 2013، Du et al., 2012 ؛Aerts et al., 2014 ؛Dankers et al., 2014؛ Tripathi et al., 2022). سیل ها می‌توانند اثرات اجتماعی قابل توجهی، مانند آسیب‌های شدید به مناطق شهری، داشته باشند (Alfieri et al., 2018 ؛ Winsemius et al., 2016 ؛Qi et al., 2021). تغییرات آب و هوایی و توسعه اجتماعی-اقتصادی در افزایش تعداد رویدادها و خسارات سیل نقش اساسی دارند (Jha et al., 2012). با افزایش فعالیت‌های انسانی، درک تعاملات و بازخوردها، بین منابع آب و سیستم‌های اجتماعی اهمیت فزاینده‌ای پیدا کرده‌است (Troy et al., 2015؛Blair and Buytaert, 2016).

برای به حداقل رساندن خطرات و ارائه واکنش اضطراری در زمان وقوع بلایای طبیعی، باید اقدامات مختلفی از سوی مسئولان مدیریت حوادث قبل از وقوع سیل انجام شود (Munawar et al., 2022). خسارات سیل تنها ناشی از مخاطرات طبیعی نمی‌باشد، بلکه به وسیله سیستم اقتصادی، سیاسی و اجتماعی نیز گسترش می‌یابد (Diaconu et al., 2021; Badri et al., 2018). یکی از محورهای اخیر در مدل سازی هیدرولوژیک، ارزیابی اثرات کاربری زمین و تغییرات پوشش گیاهی بر منابع آب و سیل است (Yang et al., 2012). گسترش شهرنشینی یکی از عوامل مهم در تغییرات کاربری اراضی و پوشش زمین است که این عوامل بر پاسخ هیدرولوژیک حوضه و مقدار رواناب و سیلاب‌ها در حوضه‌های آبخیز تاثیر بسیار زیادی دارند (Du et al., 2012). گسترش مناطق شهری به‌طور جدی باعث کاهش نفوذپذیری سطحی می شوند، در نتیجه این موضوع تاثیرات زیادی بر فرایندهای هیدرولوژیک می‌گذارد (Dougherty et al., 2006 ؛ Feng et al., 2021 ; Ogden et al., 2011).

تعاملات و بازخوردهای پیچیده بین انسان و آب موضوعات بسیار مهمی هستند که در رویکردهای سنتی سیستم هیدرولوژیک به‌خوبی شناخته نشده‌اند. با وجود مطالعات گسترده در مورد نحوه سازگاری انسان‌ها با سیل (White, 1945)، اما در نگاه سنتی به هیدرولوژی، انسان یا به‌عنوان یک نیروی خارجی برای سیستم مورد مطالعه تصور می شود، یا به‌عنوان شرایط مرزی در نظر گرفته می شود (Peel and Blöschl, 2011). رویکردهای مدل‌سازی سنتی فرض می‌کنند که هیچ بازخوردی بین سیستم‌های هیدرولوژیک و انسانی وجود ندارد و بنابراین، نمی‌توانند بینشی در مورد چگونگی تأثیر فعالیت‌های انسانی بر سیستم طبیعی ارائه دهند (Thompson et al., 2013). این نگرش باعث می‌شود فعل و انفعالات و مکانیسم‌های بازخورد مرتبط بین فرآیندهای هیدرولوژیک و اجتماعی تا حد زیادی ناشناخته بماند (DiBaldassarre, 2013). در هیدرولوژی اجتماعی تمرکز، بر درک انسان و آب به‌عنوان یک سیستم منحصر به فرد است که با روش‌های حل مسئله قدیمی مدیریت آب متفاوت است (Blair and Buytaert, 2016). سیواپالان و همکاران (Sivapalan et al., 2012) مدل جدیدی برای بررسی تعاملات سیستم هیدرولوژیک و سیستم اجتماعی ارائه کردند. این روند تکامل سیستم انسان و آب و مسیرهای احتمالی تکامل همزمان آن‌ها را بررسی می‌کند (Viglione et al., 2014).

روش‌های مختلفی برای کنترل و کاهش خطر سیل وجود دارد که یکی از این روش‌ها پهنه‌بندی سیل است (Jha et al., 2012). محققان متعددی از روش‌های بسیاری برای شبیه‌سازی، ارزیابی و پیش‌بینی اثرات شهرنشینی بر واکنش هیدرولوژیک حوضه‌های آبخیز استفاده کرده‌اند (Munawar et al., 2022 ؛ Valeo, 2021). افتخاری و همکاران (Eftekhari et al., 2011)، پژوهشی با موضوع ارزیابی پهنه‌بندی سیل با تغییرات ضریب‌زبری بر روی رودخانه اترک توسط مدل HEC-RAS انجام دادند. نتایج ایشان نشان داد که با افزایش ضریب‌زبری، گستره پهنه سیل افزایش یافته‌است. بایونی (Baioni, 2011)، با مطالعه تاثیر تغییرات الگوهای بارش و فعالیت های انسانی بر افزایش تعداد وقایع سیل و رانش زمین در جزیره مادیرا، به این نتیجه رسید که الگوهای بارش در طی قرن بیستم تغییری در میزان بارندگی سالانه را در منطقه مورد نظر نشان نمی‌دهند، ولی فعالیت‌های انسانی و از بین رفتن پوشش سطح زمین به‌دلیل جنگل‌زدایی و ایجاد معدن، کاهش سطوح نفوذپذیر به‌دلیل عدم کنترل شهرنشینی و ساخت ساختمان‌ها و جاده‌ها، افزایش تجاوزات در مناطق سیلاب‌دشت از مهم‌ترین عوامل موثر بر تشدید وقوع و خسارات سیل و رانش زمین در منطقه مورد مطالعه می‌باشند. دلیران فیروز و همکاران (Daliran firooz et al., 2015) در پژوهش خود در رابطه با عوامل خسارات سیل در حوضه‌های آبریز قهرود و قمصر به این نتیجه رسیدند که تغییرات کاربری اراضی و افزایش ساخت و سازهای بی‌رویه در امتداد و حریم رودخانه که باعث تغییر در ضریب رواناب، ضریب‌زبری، نفوذپذیری و همچنین تنگ‌شدگی مقطع رودخانه گردیده‌است می‌توانند عوامل اصلی افزایش دبی پیک سیلاب ها، و در نتیجه افزایش سطح و عمق پهنه‌های سیل‌گیر باشند. صابری تنسوان و همکاران (Saberi tansavan et al., 2020)، با بررسی تاثیر ضریب‌زبری بر عمق، سرعت و پهنه سیل در حوضه رودخانه اترک به این نتیجه رسیدند که با افزایش ضریب‌زبری، عمق و سطح سیل‌گیر افزایش، و سرعت حرکت سیلاب کاهش می‌یابد. محمدی و همکاران (Mohamadi et al., 2017) ، هم با شبیه‌سازی و نحوه گسترش پهنه‌های سیلابی در حوضه رود کارون در استان چهارمحال و بختیاری با استفاده از نرم‌افزار HEC-RAS به این نتیجه رسیدند

که افزایش و کاهش CN اثر افزایشی و کاهشی بر دبی سیلابی حوضه داشته‌است.

ما و همکاران (Ma *et al*., 2019) هم با ارزیابی خطر سیل‌های ناگهانی در استان یونان (Yunnan) چین بر اساس عوامل هواشناسی، هیدرولوژیک، زمین‌شناسی و انسان‌شناختی، به این نتیجه رسیدند که مقدار عدد منحنی بیش‌ترین تاثیر را بر افزایش خطر سیل‌های ناگهانی دارد.

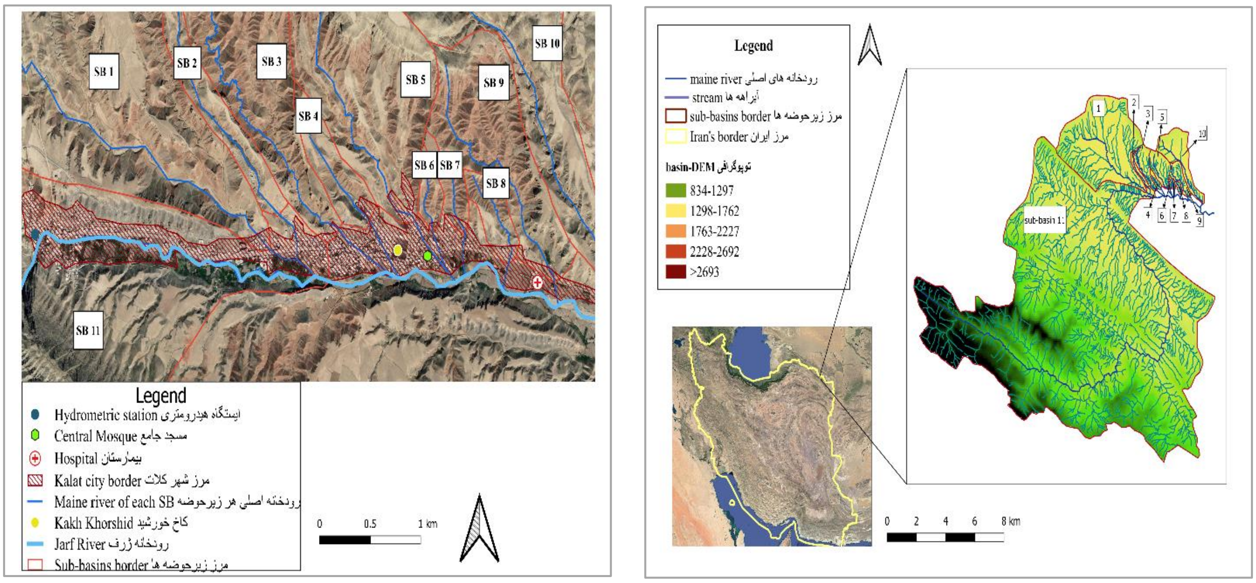
با توجه به موارد بیان شده، قرار گرفتن شهرها و روستاها در مناطق کوهپایه‌ای، از میان رفتن پوشش گیاهی، رعایت نکردن حریم رودخانه‌هایی که غالبا از میان و یا کنار شهرها می‌گذرند، ساخت و سازهای بی‌رویه در مسیر رودخانه‌ها، و یا زیرکشت بردن بخشی از اراضی حریم رودخانه‌ها و سایر عوامل مشابه از دلایل اصلی وقوع سیلاب می‌باشند. در دو دهه اخیر شهر کلات تقریباً هر ساله دچار آب‌گرفتگی می شود و بسیاری از منازل مسکونی و یا اماکن تجاری، اداری و تاریخی شهر دچار آسیب می‌شوند. با توجه به خسارات روزافزون ناشی از وقوع سیلاب در ایران و نقش عوامل انسانی در آن، می‌بایست با یک رویکرد جدید تعاملات بین سیستم هیدرولوژیک و اجتماعی با دیدگاه مدیریت سیل مورد بررسی قرار گیرد. از این رو، در این پژوهش به بررسی چگونگی تأثیر عوامل طبیعی (بارش) و انسانی بر پاسخ هیدرولوژیک در شهر کلات پرداخته شده‌است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

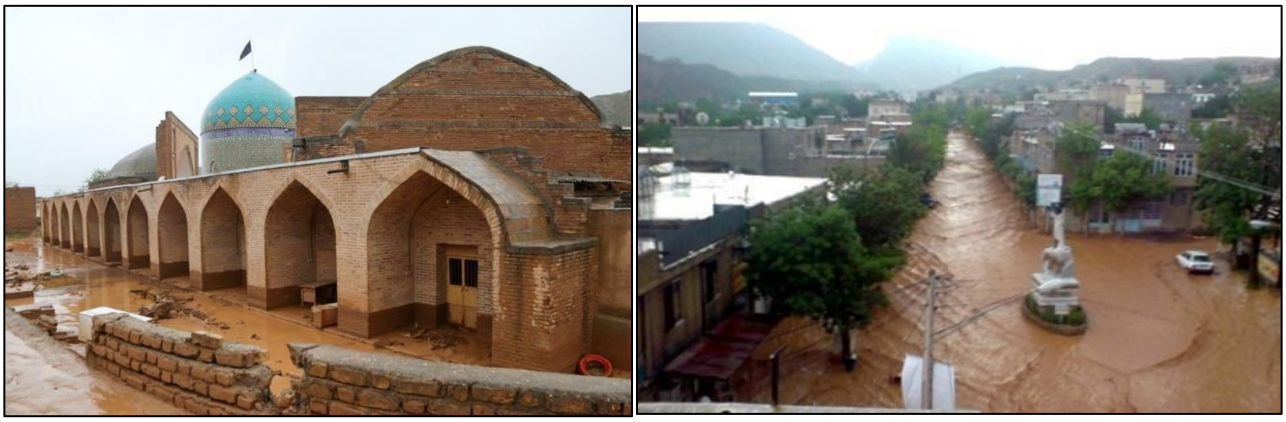
شهرستان کلات نادر در ۵۹ درجه و ۹ دقیقه و ۴۰ ثانیه تا ۶۰ درجه و۲۷ دقیقه و ۲۵ ثانیه طول شرقی و ۳۶ درجه و ۲۴ دقیقه و ۲۰ ثانیه تا ۳۷ درجه و ۱۷ دقیقه عرض شمالی قرار دارد. این شهرستان در شمال شرقی کشور قرارگرفته‌است. شهر کلات و ارتفاعات مشرف بر آن را می‌توان به ۱۱ زیر حوضه تقسیم نمود. موقعیت شهر کلات در ایران و همچنین زیرحوضه‌های مورد مطالعه در شکل ۱ نشان داده شده‌است.

شهر کلات در یک منطقه نیمه‌کوهستانی قرار گرفته‌است. در محدوده شهر کلات یک رودخانه در راستای غرب به شرق جریان دارد که شهر در امتداد آن و به صورت خطی گسترش یافته‌است. این رودخانه، رود اصلی کلات است که از حوضه‌ای به نام حوضه آبریز ژرف منشاء می‌گیرد. در منطقه مورد مطالعه در این پژوهش یک ایستگاه هیدرومتری در ابتدای شهر کلات به نام ایستگاه دربند کلات نادر وجود دارد. این ایستگاه بر روی رودخانه اصلی کلات (ژرف رود) قرار دارد. انواع کاربری اراضی در این منطقه شامل کاربری شهری، کشاورزی، مرتع و بایر است. در این میان، کاربری شهری، عمده‌ترین نوع کاربری زمین در محدوده شهر می‌باشد.



شکل ۱- (الف) موقعیت حوضه مورد مطالعه در ایران و سیستم رودخانه‌ها و زیرحوضه‌ها در محدوده مورد مطالعه. (ب) موقعیت شهر کلات، ایستگاه هیدرومتری و مکان‌های مهم شهر و زیرحوضه‌ها

Figure 1- (a) Location of the study basin in Iran and the system of rivers and sub-basins in the study area. (b) Locations of Kalat city, hydrometric station and important places of the city and sub-basins



شکل ۲- تصاویر آبگرفتگی معابر و مسجد جامع شهر کلات

Figure 2- Images of flooding of passages and the Central Mosque of Kalat

جدول ۱- مشخصات ایستگاه هیدرومتری دربند کلات نادری

Table 1- Specifications of Darband Kalat Naderi hydrometric station

نام ایستگاه Station name	کد ایستگاه Station code	حوضه Basin	X-UTM	Y-UYM	ارتفاع Height	متوسط دبی (m^3/s) Average Discharge
دربندکلات نادری Darband Kalat	66-010	قره قوم Ghareghom	742634	4098007	960	0.27

این شهر در دو دهه اخیر به سرعت گسترش یافته‌است. همچنین افزایش سریع جمعیت و تغییر بافت روستایی به شهری منجر به ساختو سازهای غیرا صولی و تجاوز به حریم رودخانه شدا ست. از طرفی، مشکل آب‌گرفتگی و سیل به یکی از مهم‌ترین دغدغه‌های ساکنین تبدیل شده‌است. بنابراین، ارزیابی اثرات هیدرولوژیک و هیدرولیکی تغییرات کاربری زمین برای و ضعیت کنونی شهر کلات و همچنین سناریوهای آتی ضروری است. شکل ۲ تصاویری از آب‌گرفتگی در شهر کلات را نشان می‌دهد.

روش تحقیق

این پژوهش به منظور بررسی شرایط سیل‌خیزی و عوامل موثر در وقوع سیل در شهر کلات انجام شده‌است. برای این منظور ابتدا با استفاده از داده‌های بارش روزانه مقدار دبی اوج رواناب و زمان تمرکز هر زیرحوضه بر اساس روش SCS براورد شد. از طرفی برای بررسی تاثیر دو پارامتر کلیدی بارش (P) و عدد منحنی (CN) بر میزان دبی اوج سیل در منطقه مورد مطالعه، آنالیز حساسیت در رابطه با تعیین میزان حساسیت تغییر دبی اوج سیل به تغییر مقادیر بارش و عدد منحنی انجام شد. سپس به‌منظور مدل‌سازی پهنه سیل مقادیر ضریب‌زبری در هر زیرحوضه براورد شد. پهنه‌بندی سیل در دوره‌های بازگشت مورد نظر با استفاده از نرم‌افزار HRC-RAS انجام گرفت. همچنین جهت تعیین مهم‌ترین عوامل تشدید وقوع سیل در این حوضه از دیدگاه مسئولین، پرسشنامه‌هایی بر اساس طیف پنج درجه‌ای لیکرت برای عوامل درون حوضه‌ای و بالادست حوضه طراحی شد؛ که هر بخش شامل سوالاتی در حوزه‌های مدیریتی، فعالیت‌های مردمی و عوامل طبیعی بود. روابط و روش‌های مورد استفاده در ادامه شرح داده شده‌اند.

براورد دبی اوج

برای براورد دبی اوج سیلاب از روش SCS استفاده شد (Salami *et al.*, 2017؛ Jha *et al.*, 2012; Alizadeh, 2007). روش SCS به علت دارا بودن پارامترهای حساس کمتر، از کارایی به مراتب بالاتری نسبت به دیگر روش‌ها برخوردار می‌باشد رودکی و عزیزیان (Roodaki and Azizian, 2020) بر اساس این روش، دبی اوج سیلاب از رابطه ۱ براورد شد.

$$Q_p = \frac{2.08 * A * R}{T_p} \qquad (۱)$$

در این رابطه Q_p: دبی اوج (متر مکعب در ثانیه)، A: مساحت حوضه آبریز (کیلومتر مربع)، R: ارتفاع رواناب (میلی‌متر)، T_p: زمان رسیدن به دبی اوج (ساعت) هستند.

مقدار ارتفاع رواناب (R) با استفاده از رابطه ۲ براورد شد.

$$R = \frac{(P - 0.2S)^2}{\mathrm{P} + 0.8\mathrm{S}} \qquad (۲)$$

در این معادله P مقدار ارتفاع بارندگی (میلی‌متر) و S عامل مربوط به نگهداشت آب (میلی‌متر) هستند.

در دسترس بودن شدت بارندگی در دوره‌های بازگشت مختلف برای بسیاری از مدل‌سازی‌های هیدرولوژی الزامی است. به همین منظور در این پژوهش از روابط شدت-مدت-بارندگی که توسط قهرمان و آبخضر (Ghahraman and Abkhezr, 2004) بر اساس معادلات ۳ و ۴ ارائه شده، استفاده شده‌است.

$$P_{60}^{10} = 1.34 * (P_{24})^{0.649} \quad (۳)$$

$$P_T^t = (0.4524 + 0.247 \ln(T - 0.6)) * (0.3710 + 0.6184 * t^{0.4484}) * P_{60}^{10} \quad (۴)$$

در این معادلات P_{60}^{10} میزان بارش یک ساعته با دوره بازگشت ۱۰ سال، P_{24} میانگین حداکثر بارش ۲۴ ساعته در حوضه، T دوره بازگشت و t تداوم بارش بر حسب دقیقه می‌باشد.

با توجه به اینکه بیشترین دبی اوج در هر زیرحوضه در حالتی رخ می‌دهد که زمان تداوم بارندگی با زمان تمرکز همان زیرحوضه برابر باشد، در نتیجه می‌بایست زمان تمرکز هر زیر حوضه تعیین شود. به منظور براورد زمان تمرکز زیر حوضه‌ها از روش NRCS (2010) استفاده شد. این روش به نام روش زمان تاخیر معروف است و طبق این روش زمان تمرکز حوضه از رابطه ۵ براورد می‌شود.

$$t_c = 1.67 * t_{lag} \quad (۵)$$

در این رابطه t_{lag} زمان تاخیر (ساعت) است که از رابطه ۶ براورد می‌شود.

$$t_{lag} = \frac{0.304 * L^{0.8} * (S + 1)^{0.7}}{1900 * y^{0.5}} \quad (۶)$$

که در این معادله، L: طول رودخانه اصلی (متر)، S: نمایه نگهداشت آب در داخل حوضه (میلی‌متر)، y: متوسط شیب حوضه (درصد) است. مقدار نمایه نگهداشت آب از رابطه ۷ براورد شد.

$$S = \frac{25400}{\text{CN}} - 254 \quad (۷)$$

در این رابطه S عامل مربوط به نگهداشت آب (میلی‌متر) و CN عدد منحنی حوضه آبریز (بی‌بعد) می‌باشد.

براورد عدد منحنی

عدد منحنی یک نمایه مربوط به خصوصیات نفوذ حوضه می‌باشد که با توجه به گروه هیدرولوژیکی خاک، مقدار رطوبت اولیه و نوع کاربری اراضی تعیین می‌شود. هودکینگ و همکاران (Hodgkins et al., 2017) در طراحی‌های هیدرولوژیک برای تعیین عدد منحنی فرض می‌شود که گروه هیدرولوژیک خاک تغییر ننماید. رطوبت خاک هم به طور معمول برای وضعیت رطوبت متوسط در نظر گرفته می‌شود (که در ادامه می‌توان با توجه به وضعیت رطوبت خاک مقدار عدد منحنی را اصلاح نمود). برای تعیین وضعیت کاربری اراضی و گروه هیدرولوژیکی خاک منطقه از عکس‌های هوایی و نقشه‌های مربوط به کاربری اراضی استفاده شد. در این پژوهش از تغییرات شرایط پوشش گیاهی در طول سال صرف نظر شد، همچنین رطوبت پیشین با فرض اینکه خاک قبل از بارش در وضعیت رطوبتی ۳ (خاک مرطوب) باشد در نظر گرفته‌شد. با توجه به این که در شبیه‌سازی‌های مهندسی و بخصوص موارد مرتبط با سیل، عموما بحرانی‌ترین شرایط در نظر گرفته می‌شود، و با توجه به اینکه در شرایطی که رطوبت اولیه خاک بالا باشد (وضعیت رطوبتی ۳)، مقدار رواناب تولید شده بیشترین مقدار است، بنا بر این، وضعیت رطوبتی خاک در وضعیت مرطوب (وضعیت ۳) در نظر گرفته شد. با این وجود به منظور بررسی تغییر احتمالی شرایط رطوبتی و همچنین تغییر عدد منحنی، آنالیز حساسیت مقدار دبی اوج سیل نسبت به CN و بارش انجام شد.

آنالیز حساسیت

در آنالیز حساسیت میزان تاثیر پارامترها، روی نتایج مدل مورد بررسی قرار می‌گیرد. از جمله پارامترهای هیدرولوژیک تاثیرگذار در مقدار دبی، میزان بارش و عدد منحنی (CN)، است. در این پژوهش برای تحلیل حساسیت دبی رواناب حاصل از بارش، مقادیر بارش و عدد منحنی از ٪۲۰ کمتر تا ٪۲۰ بیشتر از مقادیر برآورد شده برای حوضه مورد مطالعه (با فواصل ٪۵) در نظر گرفته‌شد.

براورد ضریب‌زبری (n)

ضریب‌زبری هیدرولیکی رودخانه به درجه مقاومت در مقابل جریان گفته می شود. قضاوت مهندسی در تخمین این ضریب نقش مهمی دارد. راه مناسب در تخمین صحیح‌تر ضریب n، شناخت عوامل موثر در آن است. برای براورد این ضریب در این پژوهش از رابطه کاون (معادله ۸) استفاده شده‌است (Cowan, 1956).

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) * m \quad (۸)$$

در این معادله n_0 ضریب‌زبری جنس بستر، n_1 ضریب میزان بی‌نظمی سطح، n_2 ضریب تغییر سطح مقطع، n_3 ضریب موانع بر سر راه جریان، n_4 ضریب پوشش گیاهی و m ضریب تاثیر مئاندر هستند (Marcus *et al.*, 1992).

به منظور بررسی تأثیر تغییرات احتمالی ضریب‌زبری بر پهنه سیل، مقادیر این ضریب به گونه‌ای تغییر داده‌شد تا تاثیر تغییرات احتمالی شرایط بستر و سیلاب‌راه مانند: تغییر در مصالح و دانه‌بندی بستر و جداره‌ها، افزایش یا کاهش پوشش گیاهی، تغییر در شکل کانال و...، در سه سناریو مورد بررسی قرار گیرد. به این منظور سه سناریو به شرح زیر در نظر گرفته‌شد و پهنه‌سیلاب در منطقه مورد مطالعه تحت این سه سناریو مدل‌سازی شد.

ضریب‌زبری در شرایط فعلی منطقه مورد مطالعه.

تو سعه نامنا سب شهر و افزایش فعالیت‌های انسانی به صورت

نامناسب و سازماندهی نشده و افزایش ضریب‌زبری.

تغییر برنامه‌ها، شیوه‌های مدیریتی و سیاست‌ها به گونه‌ای که فعالیت‌های انسانی، ضریب‌زبری را کاهش دهد.

در سناریوی اول، مدل‌سازی پهنه‌سیلاب با مقادیر دبی با دوره‌های بازگشت ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ ساله با روش SCS انجام شد.

مدل‌سازی پهنه‌سیل

در این پژوهش، به منظور مدل‌سازی پهنه‌سیلاب از نرم‌افزار HEC-RAS استفاده شده‌است. این نرم‌افزار قابلیت پردازش اطلاعات در سیستم GIS را دارد و می‌تواند پهنه سیلاب را به صورت دو بعدی شبیه‌سازی کند (Chan *et al*., 2022 ؛ Harrower, 2010 ؛ Du *et al*., 2012). در HEC-RAS، داده‌های مورد نیاز از سه بخش اصلی تشکیل می‌شود که شامل اطلاعات توپوگرافی، اطلاعات جریان و سایر اطلاعات هیدرولیکی جریان می‌باشد. این الزامات باید قبل از اجرای شبیه‌سازی تعیین شوند (Romali *et al*., 2018). برای اطلاعات توپوگرافی از یک مدل رقومی ارتفاعی به نام شبکه نامنظم مثلثی (TIN) استفاده شد. سپس، داده‌های مقادیر دبی جریان در ایستگاه هیدرومتری دربند کلات نادر به مدل معرفی شدند. اطلاعات هیدرولیکی مورد نیاز (از جمله مقادیر ضریب زبری) با بررسی عکس‌های هوایی و مدل ارتفاعی رقومی منطقه و همچنین با توجه به نقشه‌های موجود و مشاهدات میدانی، تعیین شدند. به منظور پهنه‌بندی سیل، ابتدا اطلاعات توپوگرافی در نرم‌افزار GIS و با استفاده از افزونه HEC-GEORAS (نسخه 10.2) وارد شدند. پس از تعیین مقاطع عرضی با استفاده از این افزونه، اطلاعات به نرم‌افزار HEC-RAS منتقل شد و سایر داده‌های جریان و اطلاعات هیدرولیکی (از قبیل ضریب زبری) به مدل اضافه شدند. پس از انجام مدل‌سازی تحت شرایط مورد نظر (در دوره‌های بازگشت مختلف و تحت سناریوهای ذکر شده برای مقادیر مختلف ضریب زبری)، مقادیر استخراج شده از مدل به منظور مقایسه وضعیت پهنه‌سیل (در دوره‌های بازگشت مختلف و تحت سناریوهای ذکر شده)، در محیط GIS مورد بررسی قرار گرفتند.

پرسشنامه

به منظور تعیین تاثیر عوامل گوناگون بر تشدید وقوع سیل در شهر کلات، پرسشنامه‌ها تهیه و از طریق مصاحبه با پاسخ سئوالات مربوطه از متخصصان و دست‌اندرکاران مرتبط با موضوع سیل و آبگرفتگی در شهر کلات، اخذ شد. به منظور تعیین تعداد پاسخگویان به پرسشنامه‌ها از روش "گلوله برفی نمونه‌گیری خطی" استفاده شد. در این روش هر یک از اعضای نمونه، یک فرد جدید را برای ادامه روند نمونه‌گیری معرفی می‌کنند و تعداد پاسخگویان تا اشباع نظری ادامه داشت. یعنی تا زمانی که به شکل نظری پاسخ‌ها تقریبا مشابه بودند (Ghaljaee *et al*., 2017). پاسخگویان شامل متخصصین در رشته‌های مربوط به آب، مانند مهندسی آب، عمران آب، منابع طبیعی، کشاورزی، آب و فاضلاب و محیط زیست بودند که عموما در سازمان‌هایی در شهر کلات فعالیت داشتند. پرسشنامه تدوین شده در قالب طیف پنج درجه‌ای لیکرت (با میزان خیلی‌کم (۱)، کم (۲)، متوسط (۳)، زیاد (۴) و خیلی‌زیاد (۵)) تهیه شد. بدین ترتیب پاسخ‌های کیفی به اعداد کمی تبدیل می‌شوند. طیف لیکرت به منظور اندازه گیری "نگرش" به روش علمی پذیرفته شده است (Schwartz and Smith, 2014). با توجه به بازدیدهای میدانی و بررسی گزارشات اولیه و همچنین پیش‌مصاحبه با مردم و مسئولین مربوطه، سئوالات پرسشنامه به دو بخش تقسیم شدند:

الف) عواملی که در داخل شهر کلات باعث تشدید وقوع سیل و آبگرفتگی می‌شوند.

ب) عواملی است که در بالادست شهر کلات باعث ایجاد سیل و ورود سیل به داخل شهر می‌شوند.

سوالات پرسشنامه اول در سه بخش دسته‌بندی شدند:

الف-۱) جامعه محلی (تغییرات در سیستم رودخانه توسط مردم محلی در طول سال‌ها) شامل هشت سوال.

الف-۲) مدیریتی (سیاست‌های نادرست، نبود برنامه‌های مدیریتی مناسب و ...) شامل هشت سوال.

الف-۳) فیزیکی (عدم انجام فعالیت‌های توسعه مناسب در حوضه و ...) شامل سه سوال.

همچنین سوالات پرسشنامه دوم در سه بخش دسته‌بندی شدند:

ب-۱) اجتماع غیر محلی (فعالیت‌های انسانی و تغییرات رودخانه در بالادست شهر) شامل هفت سوال.

ب-۲) مدیریتی (عوامل مرتبط با مدیریت رودخانه، سیاست‌گذاری و ...) شامل دو سوال.

ب-۳) محیطی (تغییر اقلیم، تغییر الگوی بارش، و سایر عوامل طبیعی که از بالادست بر تغییر دبی رودخانه تاثیر می‌گذارند) شامل سه سوال.

برای تحلیل آماری داده‌های پرسشنامه‌ها از نرم‌افزار SPSS استفاده شد (Bala, 2016).

نتایج و بحث

با توجه به کاربری و پوشش اراضی منطقه مورد مطالعه، مقدار عدد منحنی، زمان اوج سیلاب و زمان تمرکز (برابر با زمان اوج) با استفاده از رابطه ۵ و بر اساس رابطه NRCS برای هر زیرحوضه تعیین شد. این مقادیر در جدول ۲ آورده شده‌است.

با توجه به جدول ۲ زمان تمرکز در اکثر زیرحوضه‌ها، بخصوص

در زیرحوضه‌های ۴، ۶، ۷ و ۸ بسیار کوتاه و کمتر از نیم ساعت است. کو تاه‌بودن ز مان تمرکز این زیرحوضـــه ها می‌توا ند خطر ناک‌بودن رواناب‌های نا شی از این زیرحو ضه‌ها و در اختیار ندا شتن زمان کافی برای انجام اقدامات آنی را نشـــان دهد. پس از پردازش اطلاعات اولیه مقدار دبی اوج برای هر زیرحوضه از رابطه ۱ براورد شد که این مقادیر در جدول ۳ ارائه شده‌اند.

طبق مشاهدات به عمل آمده از شهر کلات، بیش‌ترین آسیب‌های سیلاب نا شی از سیلاب‌های زیرحو ضه‌های ۲، ۳، ۴ و ۵ می‌با شد که بیش‌ترین خســارات را به منازل مســکونی، مغازه‌ها و بناهای تاریخی شهر مانند کاخ خور شید و مسجد جامع شهر وارد می‌کند. هیدروگراف سیل زیرحو ضه‌های ذکر شده در دوره‌های بازگشت مختلف در شکل ۳ ن شان داده شده ا ست. بر ا ساس روش هیدروگراف واحد م صنوعی هیدروگراف SCS و با توجه به مشخص بودن مقادیر Q/Q_p در مقابل مقادیر t/t_p و با در دسترس بودن مقادیر Q_p برای دوره‌های بازگشت مورد نظر، هیدروگراف‌های مشــخص شــده در شــکل ۳ در زمان‌های مشخص برای هر یک از زیرحوضه‌ها بدست می‌آیند. در شکل ۳ زمان دبی اوج ســیلاب و مقدار دبی اوج برای زیرحوضـــه‌های ۲، ۳، ۴ و ۵ نشان داده شده‌است.

نتایج آنالیز حساسیت

به منظور تحلیل حســاســیت دبی اوج نســبت به تغییرات بارش و تغییر کاربری اراضــی، آنالیز حســاســیت روی افزایش و یا کاهش دو پارامتر بارش (P) و عدد منحنی (CN) انجام شـــد. همچنین به دلیل عدم قطعیت‌های موجود به بررســی شــکل تغییرات دبی در مقایســه با تغییر بارش و عدد منحنی پرداخته شــد، تا بررســی شــود که اگر موارد فوق، به دلیل عدم قطعیت ها و برخی عوامل تاثیر گذار که به دلیل ساده سازی از آن‌ها صرف نظر شده ا ست، بی شتر یا کم‌تر از مقادیر براورد شده با شند، چه تغییرات احتمالی در نتایج ایجاد می شود. از این رو آنالیز حســـاســـیت روی افزایش و یا کاهش دو پارامتر P و CN با فرض افزایش و یا کاهش مقادیر هر یک از این متغیر تا میزان ٪۲۰ مقدار اولیه انجام شـــد. از آنجا که بزرگترین مقدار ممکن برای شـــماره منحنی عدد ۱۰۰ می‌باشـــد و مقدار CN برخی زیرحوضـــه‌ها در منطقه شهری مقادیر بالاتر از حدود ۸۵ را به خود اختصاص می‌دهند، با ٪۲۰ افزایش در CN، مقدار آن از ۱۰۰ (که ماکسیمم مقدار برای این پارامتر است) بیشتر خواهد شد. برای رفع این مشکل در تمام زیرحوضه‌هایی که این شـــرایط را دارند، حداکثر مقدار CN برابر ۱۰۰ در نظر گرفته شده‌است.

جدول ۲- زمان تمرکز و شماره منحنی هر زیرحوضه

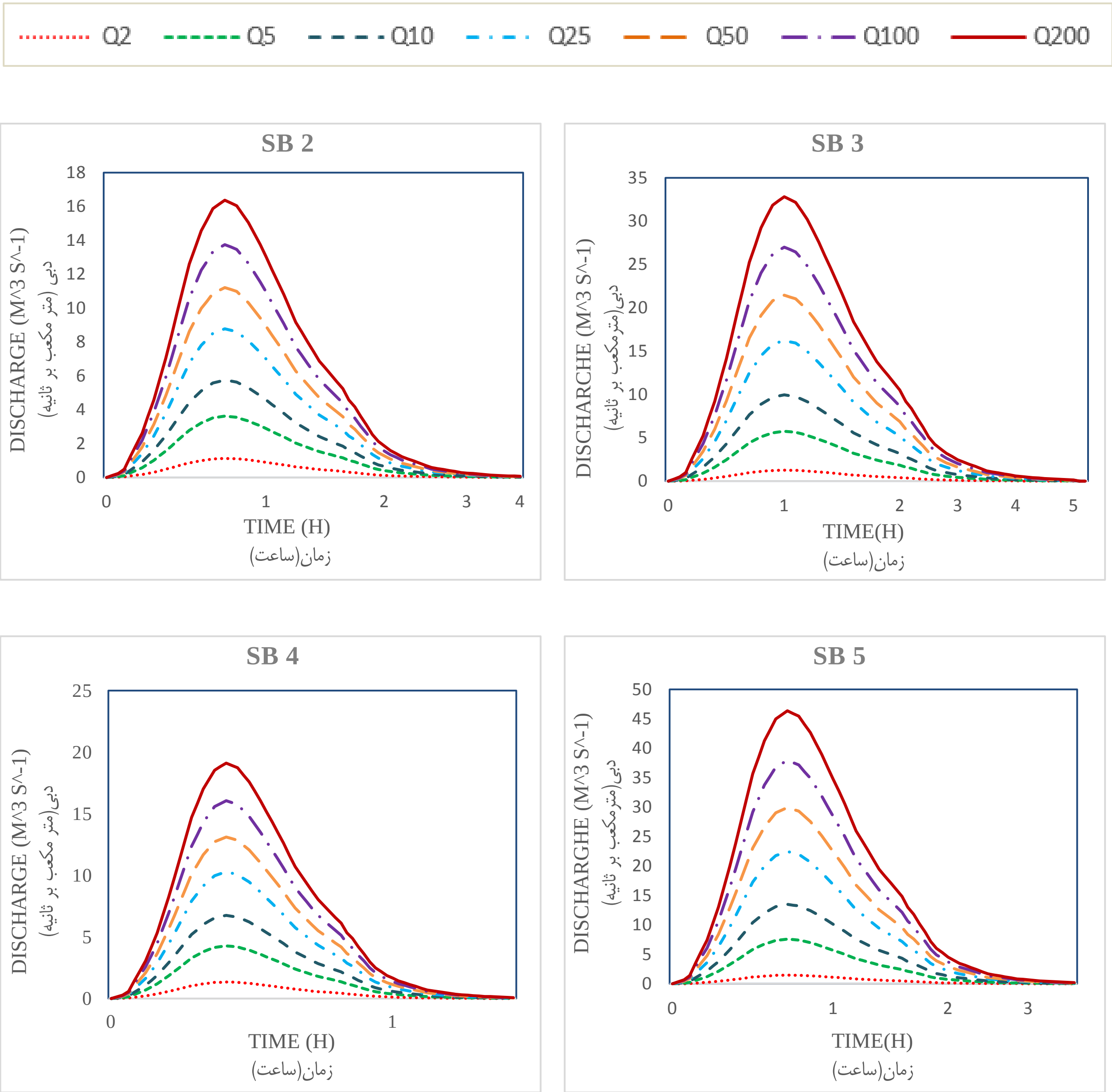
Table 2- Concentration time and Curve Number of each sub-basin

شماره زیر حوضه Sub-basin no.	SB 1	SB 2	SB 3	SB 4	SB 5	SB 6	SB 7	SB 8	SB 9	SB 10	SB 11
شماره منحنی CN	84	94	92	95	92	95	95	95	91	89	76
زمان تمرکز (ساعت) t_c(h)	2.3	0.7	0.9	0.3	0.7	0.2	0.2	0.3	0.6	1.1	8.5

جدول ۳- مقادیر دبی اوج سیلاب (m^3/s) در دوره‌های بازگشت مختلف برای هر زیرحوضه

Table 3- Flood peak discharge values (m^3/s) for different return periods in each sub-basin

شماره زیرحوضه Sub-basins no.	دوره بازگشت (سال) Return Period (year)						
	2	5	10	25	50	100	200
SB 1	1.72	8.93	22.42	46.13	67.68	91.88	118.40
SB 2	1.13	3.63	5.75	8.78	11.21	13.75	16.37
SB 3	1.26	5.75	9.96	16.25	21.46	27.00	32.82
SB 4	1.34	4.27	6.75	10.28	13.11	16.06	19.11
SB 5	1.48	7.59	13.50	22.45	29.94	37.93	46.37
SB 6	0.53	1.80	2.90	4.48	5.75	7.08	8.47
SB 7	0.80	2.70	4.33	6.67	8.56	10.53	12.57
SB 8	1.10	3.33	5.20	7.84	9.95	12.13	14.39
SB 9	1.45	6.58	11.39	18.57	24.52	30.84	37.48
SB 10	1.30	9.46	17.99	31.33	42.69	54.98	68.07
SB 11	7.15	21.33	51.65	119.54	183.80	257.56	339.72



شکل ۳- هیدروگراف سیل زیر حوضه‌های ۲، ۳، ٤ و ٥ در دوره‌های بازگشت مورد نظر

Figure 3- Flood hydrograph of sub-basins 2, 3, 4 and 5 in the desired return period

شکل‌های ۴ و ۵ میزان تغییرات مقادیر دبی در دوره‌های بازگشت مختلف را نسبت به تغییر CN و بارش در زیرحوضه‌های ۱ و ۴ نشان می‌دهند.

نتایج آنالیز حساسیت نشان می‌دهد که تغییر کاربری اراضی و پوشش زمین تأثیر بیشتری بر دبی اوج دارد. به‌طوری که در زیرحوضه ۱، با ۲۰ درصد افزایش در عدد منحنی، دبی اوج با دوره بازگشت ۲ سال بیش از ۱۱۰ درصد افزایش می‌یابد. در حالی که افزایش ۲۰ درصدی بارندگی، در همان دوره بازگشت، دبی اوج را تنها ۳ درصد افزایش می‌دهد.

مدل‌سازی پهنه‌سیل

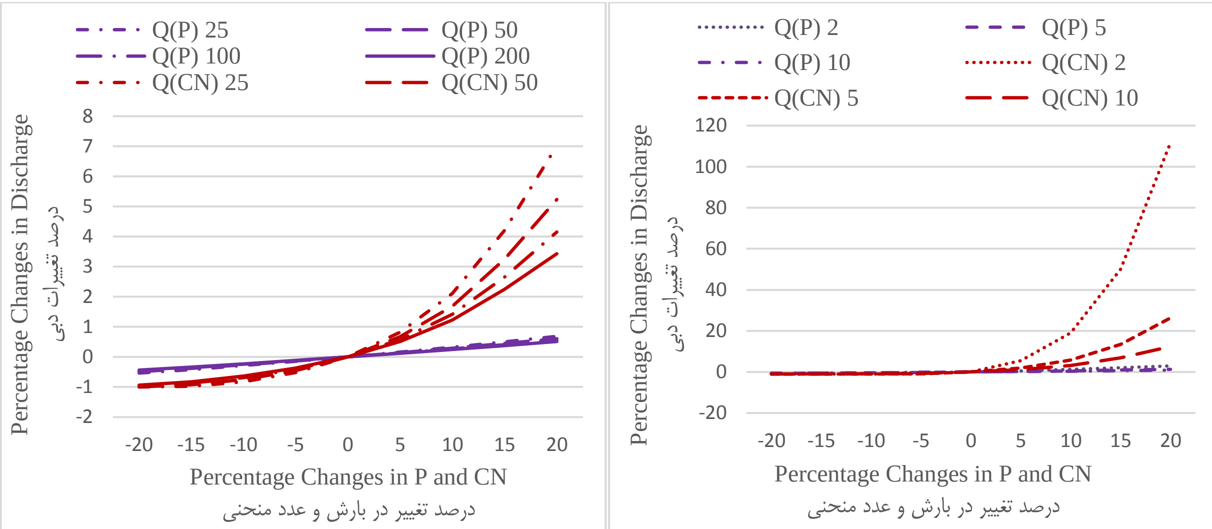
از آن‌جایی که شرایط زیرحوضه‌های ۱ تا ۱۰ از نظر وضعیت زمین شناسی و سازندهای تشکیل‌دهنده آن، مصالح و جنس بستر، توپوگرافی و کاربری اراضی و همچنین تغییرات مقطعی، وجود موانع و پوشش گیاهی تقریباً مشابه می‌باشند، برای این زیرحوضه‌ها مقادیر یکسانی برای ضریب‌زبری آبراهه‌های آنها در نظر گرفته‌شد. در زیرحوضه ۱۱ به‌دلیل متفاوت بودن شرایط کانال اصلی و سیلاب‌دشت، مقدار ضریب‌زبری متفاوت با آبراهه‌های حوضه‌های ۱ تا ۱۰ می‌باشد.

مقادیر ضریب‌زبری آبراهه ها، رودخانه اصلی (رودخانه ژرف) و سیلاب‌دشت رودخانه با استفاده از معادله ۸ و بر اساس سه سناریوی یاد شده (شرایط فعلی منطقه، افزایش ضریب‌زبری، کاهش ضریب زبری) در جدول ۴ نشان داده شده‌است. مدل‌سازی سیلاب تحت این ۳ سناریو انجام شد.

برای شبیه‌سازی سیلاب در منطقه مورد نظر حدود ۵۰ مقطع عرضی برروی رودخانه اصلی و سایر رودخانه‌ها در نظر گرفته شد.

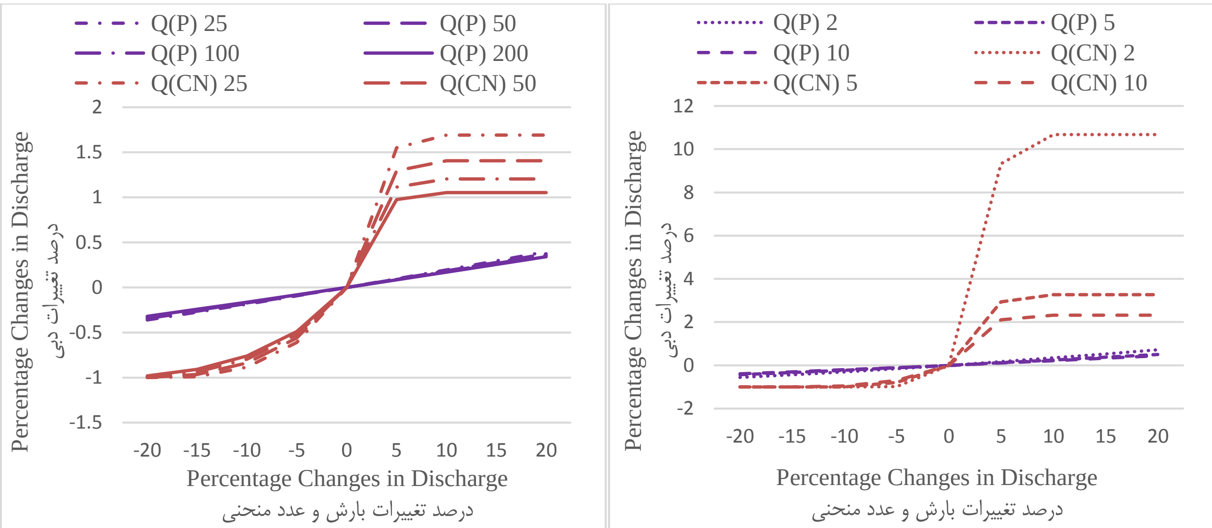
شکل‌های ۶ و ۷ تراز آب را در زیرحوضه‌های ۱ و ۸ تحت سناریوهای مورد بحث، با مقدار دبی با دوره‌های بازگشت ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ سال نشان می‌دهند.

شکل ۸ پهنه سیل در سه سناریوی مذکور (در شرایط فعلی منطقه، افزایش ضریب‌زبری، کاهش ضریب‌زبری) را در محدوده تعدادی از زیرحوضه‌ها و همچنین رودخانه اصلی (حوضه شماره ۱۱) نشان می‌دهد.



شکل ٤- درصد تغییرات مقادیردبی در دوره‌های بازگشت مختلف ۲ تا ۱۰۰ سال نسبت به تغییرات CN و بارش (٪۲۰ کم‌تر تا ٪۲۰ بیش‌تر از مقادیر واقعی) در زیرحوضه ۱

Figure 4- Percentage changes in discharge values in different return periods (2-100 years) relative to changes (20% less to 20% more than actual values) CN and precipitation in sub-basin 1



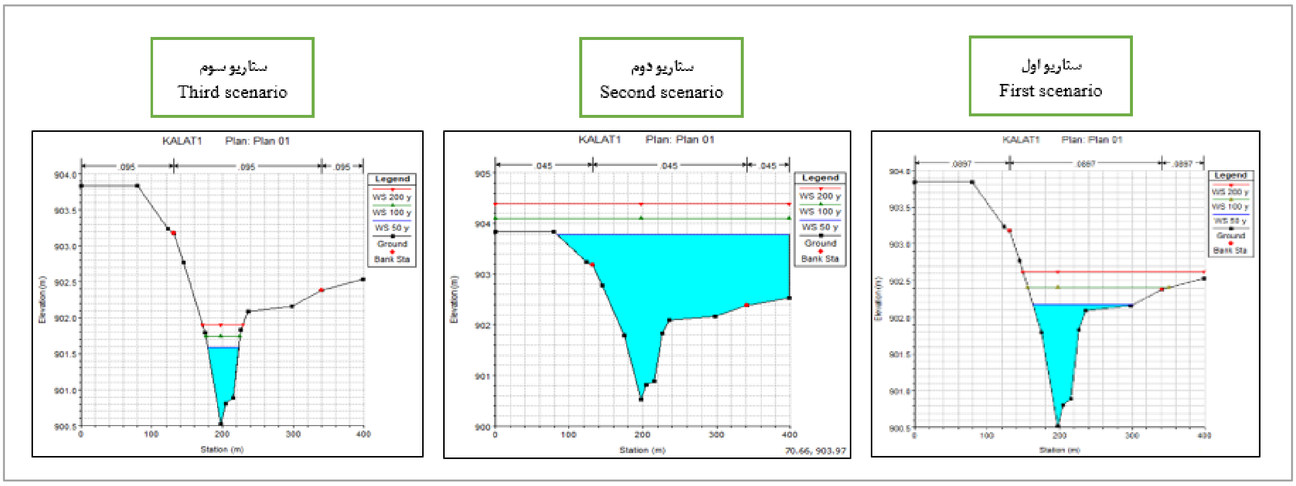
شکل ٥- درصد تغییرات مقادیردبی در دوره‌های بازگشت مختلف ۲ تا ۱۰۰ سال نسبت به تغییرات CN و بارش (٪۲۰ کم‌تر تا ٪۲۰ بیش‌تر از مقادیر واقعی) در زیرحوضه ٤

Figure 5. Percentage of changes in discharge values during different return periods (2-100 years) compared to changes CN and precipitation (20% less to 20% more than actual values) in sub-basin 4

جدول ٤- مقادیر ضریب‌زبری رودخانه و آبراهه‌ها در سناریوهای مختلف

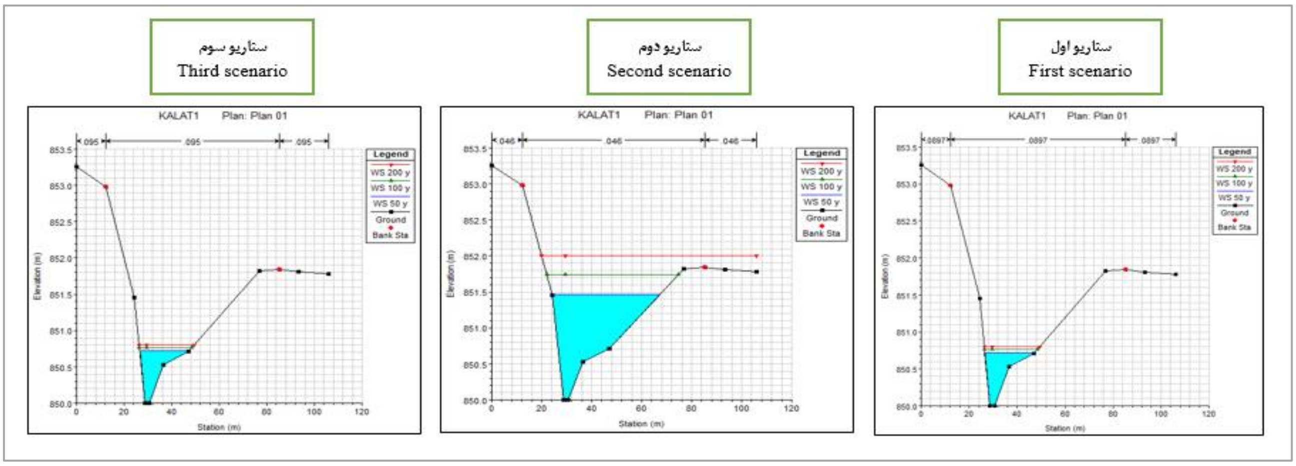
Table 4- Roughness coefficient values for main river and streams in different scenarios

موقعیت جریان **Flow position**	شماره سناریو **Scenarios No.**		
	First اول	Second دوم	Third سوم
مجرای کانال رودخانه ژرف (زیرحوضه ۱۱) **Main channel of the sub-basin 11**	0.077	0.096	0.049
سیلاب‌دشت زیرحوضه ۱۱ **Flood plain of the sub-basin 11**	0.100	0.149	0.060
سیلاب‌دشت و کانال اصلی زیرحوضه‌های ۱ تا۱۰ **Flood plain and Main channels of sub-basins 1 to10**	0.075	0.095	0.046



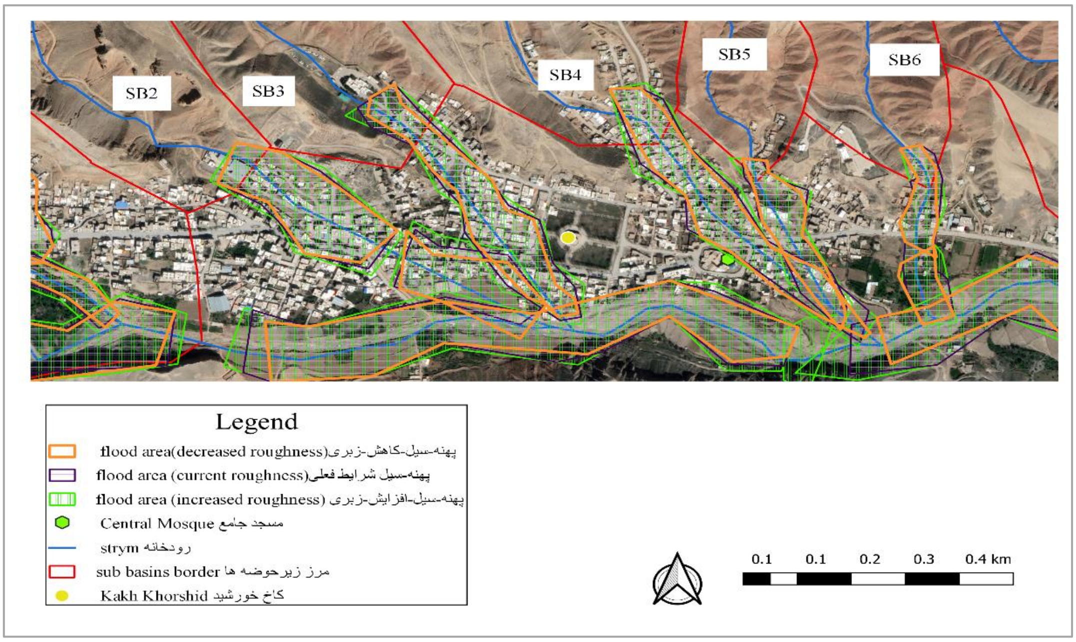
شکل ٦- تراز سطح آب تحت ۳ سناریو یادشده در زیرحوضه ۱

Figure 6- Water level under the 3 scenarios in sub basin 1



شکل ۷- تراز سطح آب تحت ۳ سناریو یادشده در زیرحوضه ۸

Figure 7- Water level under the 3 scenarios in sub basin 8



شکل ۸- پهنه‌بندی سیل بر اساس سه سناریو (شرایط فعلی منطقه، افزایش ضریب‌زبری، کاهش ضریب‌زبری) در محدوده تعدادی از زیرحوضه‌ها و رودخانه اصلی

Figure 8- Flood zoning base on three scenarios (roughness reduction, current conditions and surface roughness increase) in some basins and main river

با توجه به بازدیدهای میدانی و استفاده از تصاویر هوایی، می‌توان دریافت که جمعیت شهر کلات در زیرحوضه‌های ۲ تا ۶ متراکم شده است. همچنین بر اساس گزارشات موجود، هر ساله محدوده‌های کاخ خورشید و مسجد جامع شهر و همچنین منازل مسکونی واقع در زیرحوضه‌های ۲ تا ۶، شاهد بیشترین آسیب‌ها و آب‌گرفتگی شدید هستند (گزارش فنی آب منطقه‌ای خراسان رضوی، ۱۳۹۴). بنابر این پس از تکمیل فرایند مدل سازی، برای تهیه نقشه پهنه سیلاب، مدل HEC-RAS با استفاده از افزونه HEC-GeoRAS به نرم‌افزار GIS انتقال داده‌شد، و پهنه سیل در هر کدام از سناریوهای ذکر شده مشخص شد. شکل ۸ پهنه سیل با دوره بازگشت ۲۰۰ سال در سه سناریو ذکر شده را در فاصله زیرحوضه ۲ تا ۶ (متراکم‌ترین ناحیه شهر) نشان می‌دهد. همچنین مساحت پهنه سیل برای تمامی زیرحوضه‌ها در جدول ۵ ارائه شده‌است.

جدول ۵- مساحت پهنه سیل (m^2) در سناریوهای مختلف با دوره بازگشت ۲۰۰ سال و در زیر حوضه‌های مورد بررسی

Table 5- Area of flood zone (m^2) for different scenarios in sub basins

شماره زیرحوضه Sub-basin number	ضریب‌زبری کنونی، سناریو ۱ Current roughness coefficient, Sen. 1	افزایش ضریب‌زبری، سناریو ۲ Increased roughness coefficient, Sen. 2	کاهش ضریب‌زبری، سناریو ۳ Decreased roughness coefficient, Sen. 3
SB 1	38877	51818	34617
SB 2	22162	29781	21073
SB 3	77702	90249	71368
SB 4	46340	60133	42359
SB 5	51656	65697	49845
SB 6	22080	27722	21378
SB 7	22914	26726	21000
SB 8	25932	28190	24731
SB 9	21352	25306	20149
SB 10	91268	104825	78651
SB 11	993738	1165734	880193

با توجه به شکل‌های ۶، ۷ و ۸ و همچنین جدول ۵، در صورتی که وضع موجود (سناریوی اول) تغییر یافته و تو سعه نامنا سب شهری و تجاوز به حریم رودخانه بیش از شــرایط موجود اتفاق افتد (ســناریوی دوم) ارتفاع و پهنه سیل به شدت افزایش خواهد یافت. در حالی‌که با آزادسازی حریم و بستر رودخانه و آبراهه‌ها (سناریوی سوم) و در نتیجه کاهش ضــریب‌زبری، ارتفاع ســیل (شــکل‌های ۶ و ۷) و پهنه ســیل (جدول ۵ و شکل ۸) کاهش خواهند یافت.

از آن‌جایی که هر چه دوره بازگ شت بارندگی بی شتر با شد، رواناب بیشـــتری هم تولید می‌شـــود (علیزاده، ۱۳۸۶)، در این مطالعه نتایج پهنه‌بندی سیل با دوره بازگشت ۲۰۰ سال ارائه شد، تا پهنه سیل و در نتیجه مساحتی که در هنگام وقوع سیل دچار آبگرفتگی می‌شود، برای این دوره بازگشت نشان داده شود. از طرفی در شرایطی که طول دوره آماری کوتاه باشد، براورد رواناب برای دوره بازگشت بالا، دارای صحت پایینی خواهد بود (Van den Brink, 2005). بنا بر این، با توجه به طول دوره آماری در دسترس (نزدیک به ۳۰ سال) از بارش‌های منطقه مورد مطالعه، مدل‌سازی سیل با دوره‌های بازگشت بیشتر از ۲۰۰ سال از واقعیت دور خواهد بود. از طرف دیگر به نظر می‌رســـد که به دلیل تغییر اقلیم فراوانی وقوع سیل‌ها و سایر رویدادهای فرین آب و هوایی بیشتر شود (Van den Brink, 2005). از این رو، مقدار سیل با دوره بازگشـــت ۲۰۰ ســـال به عنوان ســـیلی که خطرات زیادی را به همراه خواهد داشت و با توجه به شرایط تغییر اقلیم، احتمال وقوع آن بیش از گذشته شده‌است، انتخاب شد.

تعیین عوامل موثر بر سیل از دیدگاه هیدرولوژی اجتماعی

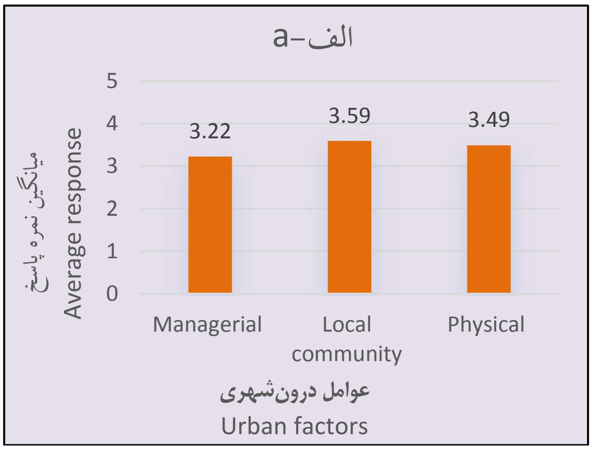
همانطور که بیان شــد، به منظور بررســی نقش عوامل انســانی و توســعه شــهری بر خطر وقوع ســیل، در این مرحله از پژوهش تاثیر عوامل مختلف بر تشــدید وقوع ســیل در منطقه مورد مطالعه از طریق طرح پرســشــنامه‌ای از متخصــصــین و مســئولین ارگان‌های مختلف برر سی شد. مجموع پا سخگویان به این پر س شنامه‌ها با توجه به روش پژوهش ۱۷ نفر بودند.

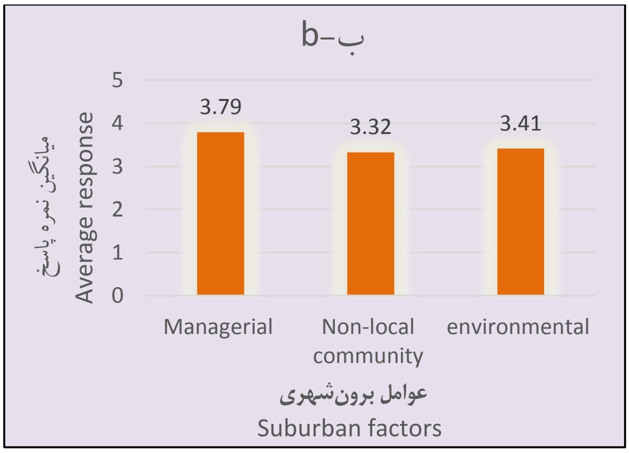
تحلیل ویژگی‌های فردی پاسخ‌دهندگان

سطح تحصیلات پاسخ‌گویان در سه رده لیسانس، فوق لیسانس و دکتری طبقه‌بندی شــد. بیش‌ترین درصــد فراوانی در رده تحصــیلات لیسانس برابر ۵۳٪ می‌باشند. در رده تحصیلات فوق لیسانس فراوانی برابر ۴۱٪ و در رده دکتری فراوانی پاســخگویان ۶٪ می‌باشــد. توزیع پا سخ‌گویان در ۵ ر شته تح صیلی قابل برر سی ا ست. تخ صص پا سخ گویان در ۵ ر شته سازه‌های آبی، مدیریت منابع طبیعی، مدیریت منابع آب، عمران و مهند سی آبخیزداری می‌با شد. بیش‌ترین در صد فراوانی در رشـــته عمران و ۲۹/۴٪ می‌باشـــد، بعد از آن مدیریت منابع آب در ردیف دوم با ۲۳/۵ درصــد، پس از آن ســازه‌های آبی و مدیریت منابع طبیعی هریک با ۱۷/۶٪ در رده سوم و در آخر مهندسی آبخیزداری با ۱۱/۸٪ قرار دارد.

تحلیل ویژگی‌های توصیفی پرسشنامه‌ها

همان‌گونه که بیان شــد، پرســشــنامه تدوین شــده در قالب طیف لیکرت پنج درجه‌ای (با میزان خیلی کم (۱)، کم (۲)، متو سط (۳)، زیاد (۴) و خیلی زیاد (۵)) تهیه شد. که با این شیوه و با استفاده از نرم افزار SPSS می‌توان پاسخ‌های کیفی را به نتایج کمی تبدیل کرد





شکل ۹- (الف) میزان تاثیر عوامل درون‌شهری بر تشدید وقوع سیل. (ب) میزان تاثیر عوامل برون‌شهری بر تشدید وقوع سیل درون شهر کلات

Figure 9- (a) The extent of the impact of urban factors on the intensification of floods. (b) The extent of the impact of suburban factors on the intensification of floods inside the city

. بر ا ساس نتایج ا ستخراج شده از پر س شنامه‌ها از میان عوامل درون‌شـهری موثر بر تشـدید وقوع سـیل و آبگرفتگی در داخل شـهر کلات، مهم‌ترین عامل، عوامل مربوط به جامعه محلی (فعالیت‌های مردم محلی ساکن در شهر) می‌باشد (شکل ۹ الف). همچنین بر اساس نتایج ا ستخراج شده از پر س شنامه‌ها از میان عوامل مرتبط با خارج از حو ضه شهری که بر ت شدید وقوع سیل و آبگرفتگی در داخل شهر کلات موثر هســتند، مهم‌ترین عامل، مربوط به عوامل مرتبط با مدیریت حوضه آبخیز می‌باشد. (شکل ۹ ب).

با توجه به نتایج ارائه شـــده در شـــکل ۹ در بخش عوامل درون‌شـــهری بیش‌ترین فراوانی در حوزه ا قدامات مردم محلی با میانگین پاسخ ۳/۵۹ است؛ به این معنی که بر اسـاس طیف لیکرت، تاثیر اقدامات مردم محلی بر تشدید وقوع سیل بیشتر از "متوسط (۳)" و نزدیک به "زیاد (۴)" می‌باشـد. به عبارت دیگر اقدامات سـاکنین داخل شهر (شکل ۹-الف) مهم‌ترین عامل افزایش تعدد وقوع سیل و آبگرفتگی در داخل شـــهر می‌باشـــد. از این اقدامات می‌توان مواردی مانند ساخت و ساز در مسیر و حریم آبراهه‌ها و انسداد مسیر آبراهه‌ها را نام برد. همچنین در بخش عوامل برون‌شهری بیش‌ترین فراوانی در حوزه مدیریتی با میانگین ۳/۷۹ و کم‌ترین فراوانی در حوزه فعالیت‌های مردم غیر محلی میانگین ۳/۳۲ می‌باشـد که بر اسـاس طیف لیکرت تاثیر عوامل مدیریتی که در بالاد ست شهر موجب افزایش سیلاب در داخل شهر کلات می شود نسبتا "زیاد (۴)" است. همان‌گونه که بیان شـد با توجه به شـبکه هیدروگرافی و موقعیت شـهر کلات، عوامل دیگری در خارج از حوضـه شـهری بر وقوع سـیل و آبگرفتگی موثر هسـتند، که در این میان "اقدامات مدیریتی" مهم‌ترین عامل از نظر وقوع سیل در این شهر می‌باشند (شکل ۹-ب). این اقدامات عموما به مدیریت حوضـه آبخیز در بالادسـت شـهر مربوط می‌شـود. از جمله اقدامات مدیریتی در حوضه آبخیز می‌توان به جلوگیری از چرای مفرط دام، حفظ و توسـعه پوشـش گیاهی، تراس‌بندی و کاهش فرسـایش و تولید رسـوب، اشـاره نمود. این موارد مدیریت رشـد هوشـمند و برنامه‌ریزی شده را در گسترش شهری و توسعه متراکم درون شهری برای کاهش خطر سـیل ضـروری می‌سـازد (Beshir and Song, 2021).

نتیجه‌گیری

همان‌گونه که بیان شد، در شهر کلات در سالیان اخیر مشکلات نا شی از وقوع سیل و آبگرفتگی به شدت افزایش یافتا ست. در این پژوهش علل وقوع این مشـــکل از دو دیدگاه فنی و اجتماعی مورد بررسی قرار گرفت. با مدل‌سازی روابط بارش رواناب در زیرحوضه‌های منتهی به شهر و انجام آنالیز حساسیت، نتایج نشان میدهد که تغییر کاربری اراضـی و پوشـش سـطح زمین (CN)، در مقایسـه با تغییرات بارندگی، تأثیر بیشتری بر دبی اوج سیل دارد. به‌طوری که در یکی از زیرحوضـــه‌ها، با ۲۰ درصـــد افزایش عدد منحنی، دبی اوج با دوره بازگشـت ۲ سـال بیش از ۱۱۰ درصـد افزایش می‌یابد. در حالی که افزایش ۲۰ درصـدی بارندگی، در دوره بازگشـت ۲ سـال، دبی اوج را تنها ۳ درصـد افزایش می‌دهد. نتایج تحقیقات ما و همکاران (Ma *et al*., 2019) نیز تأثیر قابل‌توجه عدد منحنی بر دبی اوج رواناب را تایید می‌کند. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که تغییر در مقدار بارش تأثیر چندانی در افزایش دبی اوج سیلاب در این منطقه نخواهد داشت؛ اما تغییر در عدد منحنی (CN) به شدت بر بزرگی سیل (دبی اوج و حجم سیل) تاثیر می‌گذارد. همان‌طور که ذکر شد، کاربری اراضی و پوشش سـطح زمین یکی از عوامل موثر بر عدد منحنی اسـت؛ از طرفی نوع پوشش زمین و نوع کاربری به راحتی توسط ساکنان منطقه تغییر می کند. در نتیجه، نقش فعالیت‌های انسانی در افزایش خطر سیل می‌تواند بیشتر از تغییرات الگوی بارندگی در منطقه مورد مطالعه قرار گیرد.

با توجه به بررسی‌های انجام‌شده، زمان تمرکز حوضه و زمان اوج سـیلاب (به‌دلیل وجود سـطوح غیرقابل نفوذ و کوچک بودن سـطح زیرحوضه‌ها) در حدود ۷۰ درصد از زیرحوضه‌ها کمتر از ۱ ساعت و در برخی از زیرحوضه‌ها حتی کم‌تر از ۳۰ دقیقه است. این موضوع لزوم برنامه‌ریزی و مدیریت صحیح سیل در این زیرحوضه‌ها و در سطح شهر را پررنگ‌تر می‌کند. در منطقه مورد مطالعه توسعه نامناسب و بی برنامه شهر و کاهش پوشش گیاهی و نفوذپذیری، باعث کوتاه‌تر شدن زمان اوج سیل و افزایش دبی اوج سیل شده‌است. بنا بر این، پیشنهاد می‌شـود در این شـهر از روش‌های نوین مدیریت سـیلاب شـهری از جمله استفاده از آسفالت تراوا و سایر روش‌های توسعه کم‌اثر به منظور افزایش نفوذپذیری و کاهش دبی اوج سیلاب استفاده شود.

نتایج پهنه‌بندی سـیل در ۳ سـناریو نشـان می‌دهد که ضـریب مانینگ تاثیر قابل توجهی در ارتفاع و مساحت سیل دارد. در نتیجه می توان با اعمال تدابیر مدیریتی در آینده و همچنین توجه به بازخورد بین شهرنشینی و پهنه سیل، خسارات ناشی از سیل را کاهش داد. در این صـورت سـاختمان‌ها و سـازه‌های انسـانی باید تا حد امکان از مسـیر رودخانه حذف شوند و ساخت این سازه‌ها در مناطق سیل‌گیر متوقف شود. به منظور افزایش نفوذپذیری، برخی از مناطق سیل‌گیر می‌توانند به فضای سبز (مانند پارک) اختصاص داده‌شوند. به‌این ترتیب می‌توان مقداری از سـیلاب را به این نواحی هدایت کرد تا در زمین نفوذ نموده و از جاری‌شدن به سمت پائین‌دست بازداشته شود.

بر اساس نتایج حاصل از تحقیقات میدانی و تحلیل پرسشنامه‌های تکمیل شده توسط کارشناسان و دست‌اندرکاران مربوطه، اساسی‌ترین عاملی که در درون شـهر باعث افزایش خسـارات سـیل و آبگرفتگی می‌شـود، اقدامات مردم محلی و سـاکنان شـهر کلات اسـت. از جمله

مهم‌ترین این فعالیت‌ها می‌توان به "تعرض به حریم و حتی بستر رودخانه"، "ساخت و ساز ساختمان‌های مسکونی در حریم رودخانه"، "افزایش تراکم جمعیت در پهنه سیل گیر"، و حتی "احداث ساختمان‌های اداری در حریم رودخانه" اشاره کرد. براساس نتایج حاصل از پرسشنامه‌ها بیش‌ترین خسارت در داخل شهر ناشی از فعالیت مردم محلی است، بنابر این می‌توان با اجرای برنامه‌های آگاه سازی و برنامه‌ریزی برای جلوگیری از گسترش نامناسب شهر در حریم رودخانه، خسارات سیل را به میزان قابل‌توجهی کاهش داد که نتایج پژوهش هاندایانی و همکاران (Handayani *et al*., 2020) نیز این موضوع را تایید می‌کند. بر اساس نتایج حاصل از تحلیل پرسشنامه‌ها، مهم‌ترین عواملی که در خارج از شهر و از بالادست باعث تشدید وقوع سیلاب در داخل شهر کلات می شوند، مربوط به "عوامل مدیریتی" می‌باشد. مهم‌ترین عوامل مدیریتی تاثیر گذار که از بالادست موجب وقوع سیل در داخل شهر کلات می‌شوند شامل "عدم اجرای فعالیت های آبخیزداری" و "عدم ساماندهی آبراهه ها در بالادست حوضه" می‌باشند.

در یک جمع‌بندی کلی می‌توان نتیجه گرفت که نقش عوامل انسانی در وقوع و تشدید سیل و همچنین افزایش خسارات سیل در شهر کلات، بسیار بیشتر از عوامل طبیعی (مانند تغییر شدت بارندگی) است. بنابراین برای کنترل سیلاب باید برنامه‌های مدیریتی در منطقه اعمال شود و این برنامه‌ها باید شامل جلوگیری از: کاهش نفوذپذیری، احداث ساختمان و سایر موانع در حریم رودخانه، مسدود نمودن آبراهه‌ها و یا تغییر جهت مسیر آبراهه‌ها باشند. ضمن آنکه باید برنامه ریزی‌هایی برای افزایش پوشش گیاهی در بالادست شهر انجام شود. پیشنهاد می شود، پژوهش‌های دیگری در مورد نقش عوامل اقتصادی و اجتماعی در افزایش خطر سیل و میزان خسارات آن انجام گیرد.

منابع

1. Aerts, J.C., Botzen, W.W., Emanuel, K., Lin, N., De Moel, H., & Michel-Kerjan, E.O. (2014). Evaluating flood resilience strategies for coastal megacities. *Science* 344: 473-475. https://doi.org/10.1126/science.1248222.
2. Alizadeh, A. (2007). *Principles of Applied Hydrology*. The seventh edition. (In Persian)
3. Alfieri, L., Dottori, F., Betts, R., Salamon, P., & Feyen, L. (2018). Multi-model projections of river flood risk in Europe under global warming. *Climate* 6: 6. https://doi.org/10.3390/cli6010006.
4. Asadi, R., Karami, M., & Jafari, Gh. (2015). *Investigating the main factors of aggravating flood damage in Iran and its control methods.* 10th International Seminar on River Engineering, Ahvaz.
5. Badri, A., Sadeghloo, T., & Kazemi, N. (2018). *Crisis management (with emphasis on rural areas*). Noor e Elm Publications, Tehran. (In Persian)
6. Baioni, D. (2011). Human activity and damaging landslides and floods on Madeira Island. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 11: 3035-3046. https://doi.org/10.5194/nhess-11-3035-2011.
7. Bala, J. (2016). Contribution of SPSS in Social Sciences Research. *International Journal of Advanced Research in Computer Science* 7.
8. Beshir, AA., & Song, J. (2021). Urbanization and its impact on flood hazard: the case of Addis Ababa, Ethiopia. *Natural Hazards 109*(1): 1167-1190. https://doi.org/10.1007/s11069-021-04873-9.
9. Blair, P., & Buytaert, W. (2016). Socio-hydrological modelling: a review asking" why, what and how?". *Hydrology and Earth System Sciences* 20: 443-478. https://doi.org/10.5194/hess-20-443-2016.
10. Chan, SW., Abid, SK., Sulaiman, N., Nazir, U., & Azam, K.A. (2022). systematic review of the flood vulnerability using geographic information system. *Heliyon* e09075. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e09075.
11. Cowan, W.L. (1956). Estimating hydraulic roughness coefficients. *Agricultural Engineering* 37: 473-475.
12. CRED, U. (2015). *The human cost of weather related disasters*. The United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNISDR). org/10.1017/CBO9781107415324, 4.
13. Daliran firooz, H., Mokhtari, F., Soltani, S., & Moosavi, A. (2015). Evaluation of flood damage in Ghamsar and Qahroud watersheds using HEC-FIA software. *Journal of Soil and Water Sciences* 19: 63-75. (In Persian with English abstract)
14. Dankers, R., Arnell, N.W., Clark, D.B., Falloon, P.D., Fekete, B.M., Gosling, S.N., & Satoh, Y. (2014). First look at changes in flood hazard in the Inter-Sectoral Impact Model Intercomparison Project ensemble. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 111: 3257-3261. https://doi.org/10.1073/pnas.1302078110.
15. Diaconu, DC., Costache, R., & Popa, MC. (2021). An overview of flood risk analysis methods. *Water 13*(4): 474. https://doi.org/10.3390/w13040474.
16. Di Baldassarre, G., Montanari, A., Lins, H., Koutsoyiannis, D., Brandimarte, L., & Blöschl, G. (2010). Flood fatalities in Africa: from diagnosis to mitigation. *Geophysical Research Letters 37*(22). https://doi.org/10.1029/2010GL045467.
17. Di Baldassarre, G., Viglione, A., Carr, G., Kuil, L., Salinas, J., & Blöschl, G. (2013). Socio-hydrology: conceptualising human-flood interactions. *Hydrology and Earth System Sciences* 17: 3295-3303. https://doi.org/10.1002/2014WR016416.
18. Dougherty, M., Dymond, R.L., Grizzard Jr, T.J., Godrej, A.N., Zipper, C.E., & Randolph, J. (2007). Quantifying

long-term hydrologic response in an urbanizing basin. *Journal of Hydrologic Engineering* 12: 33-41. https://doi.org/10.1061/(ASCE)1084-0699(2007)12:1(33).
19. Du, J., Qian, L., Rui, H., Zuo, T., Zheng, D., Xu, Y., & Xu, C.-Y. (2012). Assessing the effects of urbanization on annual runoff and flood events using an integrated hydrological modeling system for Qinhuai River basin, China. *Journal of Hydrology* 464: 127-139. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.06.057.
20. Eftekhari, A., Salajeghe, A., & Hoseini, A. (2011). Evaluation of flood zoning with changes in roughness coefficient Case study: Atrak river. *Journal of Natural Geography* 22: 91-106. (In Persian)
21. Feng, B., Zhang, Y., & Bourke, R. (2021). Urbanization impacts on flood risks based on urban growth data and coupled flood models. *Natural Hazards 106*(1): 613-627. http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/.
22. Ghahraman, B., & Abkhezr, H. (2004). Correction and relations of intensity-duration-frequency of rainfall in Iran. *Soil and Water Sciences 8*(2): 1-14. (In Persian). http://20.1001.1.24763594.1383.8.2.1.4.
23. Ghaljaee, F., Naderifar, M., & Goli, H. (2017). *Snowball, a purposive sampling method in qualitative research*. Strides in Development of Medical Education.
24. Handayani, W., Chigbu, UE., Rudiarto, I., & Putri, IHS. (2020). Urbanization and Increasing Flood Risk in the Northern Coast of Central Java—Indonesia: An Assessment towards Better Land Use Policy and Flood Management. *Land 9*(10): 343. https://doi.org/10.3390/land9100343.
25. Harrower, M.J. (2010). Geographic Information Systems (GIS) hydrological modeling in archaeology: an example from the origins of irrigation in Southwest Arabia (Yemen). *Journal of Archaeological Science* 37: 1447-1452. https://doi.org/10.1016/j.jas.2010.01.004.
26. Hodgkins, G., Dudley, R., Archfield, S.A., & Renard, B. (2019). Effects of climate, regulation, and urbanization on historical flood trends in the United States. *Journal of Hydrology* 573: 697-709. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.03.102.
27. Jha, A.K., Bloch, R., & Lamond, J. (2012). *Cities and flooding: a guide to integrated urban flood risk management for the 21st century*. World Bank Publications.
28. Junk, W.J., Bayley, P.B., & Sparks, R.E. (1989). The flood pulse concept in river-floodplain systems. *Canadian Special Publication ofF and Aquatic Sciences* 106: 110-127.
29. Khorasan Razavi water technical report. (2014). *Report of Khorasan Razavi floods* (2014-2015).
30. Ma, M., Liu, C., Zhao, G., Xie, H., Jia, P., Wang, D., & Hong, Y. (2019). Flash flood risk analysis based on machine learning techniques in the Yunnan Province, China. *Remote Sensing* 11: 170. https://doi.org/10.3390/rs11020170.
31. Marcus, W.A., Roberts, K., Harvey, L., & Tackman, G. (1992). An evaluation of methods for estimating Manning's n in small mountain streams. *Mountain Research and Development* 227-239. https://doi.org/10.2307/3673667.
32. Mohamadi, J., Khoda Rahmi, Y., & Golabi, M. (2017). *Estimation of flood hydrograph with HEC-HMS model and simulation of flood zoning using HEC-RAS model Case study: Bakhtiar catchment, Karun river.* The second national hydrological conference of Iran, Shahrekord. (In Persian)
33. Munawar, HS., Hammad, AW., & Waller, ST. (2022). Remote Sensing Methods for Flood Prediction: A Review. *Sensors 22*(3): 960. https://doi.org/10.3390/s22030960.
34. Nardi, F., Annis, A., & Biscarini, C. (2018). On the impact of urbanization on flood hydrology of small ungauged basins: The case study of the Tiber river tributary network within the city of Rome. *Journal of Flood Risk Management* 11: S594-S603. https://doi.org/10.1111/jfr3.12186.
35. NRCS. (2010). *National Engineering Handbook Hydrology*. USDA Soil Conservation Service
36. Ogden, F.L., Raj Pradhan, N., Downer, C.W., & Zahner, J.A. (2011). Relative importance of impervious area, drainage density, width function, and subsurface storm drainage on flood runoff from an urbanized catchment. *Water Resources Research 47*(12). https://doi.org/10.1029/2011WR010550.
37. Opperman, J.J., Galloway, G.E., Fargione, J., Mount, J.F., Richter, B.D., & Secchi, S. (2009). Sustainable floodplains through large-scale reconnection to rivers. *Science* 326: 1487-1488. https://doi.org/10.1126/science.1178256.
38. Peel, M.C., & Blöschl, G. (2011). Hydrological modelling in a changing world. *Progress in Physical Geography* 35: 249-261. https://doi.org/10.1177/0309133311402550.
39. Qi, W., Ma, C., Xu, H., Chen, Z., Zhao, K., & Han, H. (2021). A review on applications of urban flood models in flood mitigation strategies. *Natural Hazards 108*(1): 31-62. https://doi.org/10.1007/s11069-021-04715-8.
40. Regional Water Company of Khorasan Razavi. (2015). *Comprehensive Studies of Floods in Kalat*. (In Persian)
41. Romali, NS., Yusop, Z., & Ismail, AZ. (2018). Application of HEC-RAS and Arc GIS for floodplain mapping in Segamat town, Malaysia. *GEOMATE Journal 15*(47): 7-13. https://doi.org/10.21660/2018.47.3656.
42. Roodaki, S., & Azizian, A. (2020). Uncertainty analysis due to the application of different infiltration estimation methods on the performance of the HEC-HMS rainfall-runoff model using the GLUE algorithm. *Iran Water Resources Research 16*(2): 50-66. (In Persian). https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=562645.
43. Saberi tansavan, M., Ganji, Z., Delghand, M., & Dorostkar, V. (2020). Investigation of sensitivity analysis of flood parameters to roughness changes (Case study: Shirvan region). *Irrigation and Water Engineering of Iran* 10: 167-180. (In Persian)
44. Salami, A.W., Bilewu, S.O., Ibitoye, B.A., & Ayanshola, M.A. (2017). Runoff hydrographs using Snyder and SCS

synthetic unit hydrograph methods: A case study of selected rivers in south west Nigeria. *Journal of Ecological Engineering 18*(1). http://10.12911/22998993/66258.
45. Schwartz, S.S., & Smith, B. (2014). Slowflow fingerprints of urban hydrology. *Journal of Hydrology* 515: 116-128. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.04.019.
46. Sivapalan, M., Savenije, H.H., & Blöschl, G. (2012). Socio-hydrology: A new science of people and water. Hydrol. *Process* 26: 1270-1276. http://doi.org/10.1002/hyp.8426.
47. Thompson, S., Sivapalan, M., Harman, C., Srinivasan, V., Hipsey, M., Reed, P., & Blöschl, G. (2013). Developing predictive insight into changing water systems: use-inspired hydrologic science for the Anthropocene. *Hydrology and Earth System Sciences* 17: 5013-5039. https://doi.org/10.5194/hess-17-5013-2013.
48. Tripathi, G., Pandey, AC., & Parida, BR. (2022). Flood Hazard and Risk Zonation in North Bihar Using Satellite-Derived Historical Flood Events and Socio-Economic Data. *Sustainability 14*(3): 1472. https://doi.org/10.3390/su14031472.
49. Troy, T., Konar, M., Srinivasan, V., & Thompson, S. (2015). Moving sociohydrology forward: a synthesis across studies. *Hydrology and Earth System Sciences* 19: 3667-3679. https://doi.org/10.5194/hess-19-3667-2015.
50. Valeo, C., He, J., & Kasiviswanathan, K.S. (2021). Urbanization under a Changing Climate–Impacts on Hydrology. *Multidisciplinary Digital Publishing Institute 13*(4): 393. https://doi.org/10.3390/w13040393.
51. Viglione, A., Di Baldassarre, G., Brandimarte, L., Kuil, L., Carr, G., Salinas, J.L., & Blöschl, G. (2014). Insights from socio-hydrology modelling on dealing with flood risk–roles of collective memory, risk-taking attitude and trust. *Journal of Hydrology* 518: 71-82. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.01.018.
52. Winsemius, H.C., Aerts, J.C., Van Beek, L.P., Bierkens, M.F., Bouwman, A., Jongman, B., & Van Vuuren, D.P. (2016). Global drivers of future river flood risk. *Nature Climate Change* 6: 381-385. https://doi.org/10.1038/nclimate2893.
53. Van den Brink, H., Können, G., Opsteegh, J., Van Oldenborgh, G., & Burgers, G. (2005). Estimating return periods of extreme events from ECMWF seasonal forecast ensembles. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society 25*(10): 1345-1354.
54. White, G.F. (1945). *Human adjustment to floods*. *A Geographical Approach to the Flood Problem in the United States.* In: Chicago, T.U.O., Ed., Research Paper No. 29, The University of Chicago, Chicago.
55. Yang, X., Ren, L., Singh, V., Liu, X., Yuan, F., Jiang, S., & Yong, B. (2012). Impacts of land use and land cover changes on evapotranspiration and runoff at Shalamulun River watershed, China. *Hydrology Research* 43: 23-37. https://doi.org/10.2166/nh.2011.120.